

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES
PATENTAMT(12) Patentschrift
(10) DE 42 38 504 C2(51) Int. Cl. 8:
G 01 B 11/03
G 01 V 8/12
B 23 Q 17/24

DE 42 38 504 C2

(21) Aktenzeichen: P 42 38 504.0-52
 (22) Anmeldetag: 14. 11. 92
 (23) Offenlegungstag: 19. 5. 94
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: 25. 4. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:
Chiron-Werke GmbH & Co KG, 78532 Tuttlingen, DE(74) Vertreter:
Witte, Weller, Gahiert, Otten & Steil, 70178 Stuttgart

(62) Teil in: P 42 44 869.7

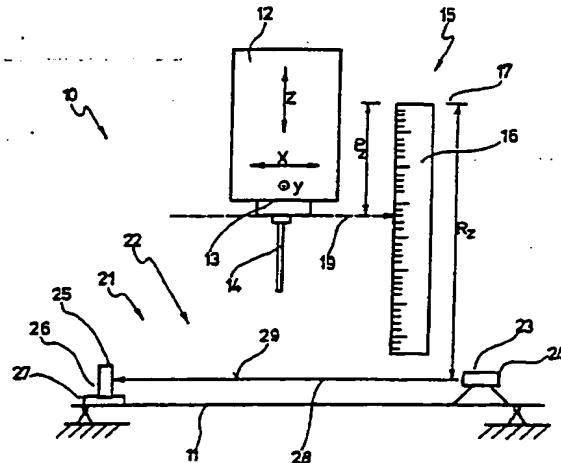
(72) Erfinder:
Rütschle, Eugen, Dipl.-Ing., 7202 Mühlheim, DE;
Winkler, Hans-Henning, Dr.-Ing., 7200 Tuttlingen, DE(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 22 31 778 B2
 EP 03 48 288 A1
 Ray ✓ EP 00 98 930 A2
 WO 87 07 550

DE-Buch: H. Hart: Einführung in die Meßtechnik,
VEB Verlag Technik, Berlin, 1977, S. 330-333;

(54) Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges

(55) Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel (13) einer Werkzeugmaschine (10), bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel (13) aufnehmenden Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird, wobei die relative Lage (Pz) des Spindelstocks (12) zu einem Referenzpunkt (34, 17) mittels eines Wegmeßsystems (33, 15) bestimmt wird, das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten (Z) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate (Z) verlaufenden optischen Meßebene (32, 29) mit zugeordnetem optischem Meßsystem (21, 39, 51) mit dünnem Laserstrahl zugestellt wird, das Meßsystem (21, 39, 51) ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebene (32, 29) eintaucht, bei Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebene (32, 29) die momentane relative Lage (Pzm) des Spindelstocks (12) als Lagemeßwert (Pzm) gemessen wird, und aus dem Lagemeßwert (Pzm) sowie aus der relativen Lage (Rz) der Meßebene (32, 29) zu dem Referenzpunkt (34, 17) die Abmaße (l) des Werkzeuges (14) in der Koordinate (Z) berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren bei sich drehendem Werkzeug (14) auch in einer quer zur Längsrichtung (Z) des Werkzeuges (14) verlaufenden Koordinate (Y) durchgeführt wird, um im Betrieb zusätzlich Rundheit und Durchmesser (r) des Werkzeuges (14) zu bestimmen.



DE 42 38 504 C2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges in einer Spindel einer Werkzeugmaschine, bei der das Werkzeug durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel aufnehmenden Spindelstock und einem Werkstücktisch zugestellt wird, wobei

- die relative Lage des Spindelstocks zu einem Referenzpunkt mittels eines Wegmeßsystems bestimmt wird,
- das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten einer im wesentlichen quer zu der Koordinate verlaufenden optischen Meßebene mit zugeordnetem optischen Meßsystem zugestellt wird,
- das Meßsystem ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug in die Meßebene eintaucht,
- bei Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebene die momentane relative Lage des Spindelstocks als Lagemeßwert gemessen wird, und
- aus dem Lagemeßwert sowie aus der relativen Lage der Meßebene zu dem Referenzpunkt die Abmaße des Werkzeuges in der Koordinate berechnet werden.

Ein derartiges Verfahren ist aus der Druckschrift EP 00 98 930 A2 bekannt.

Das bekannte Verfahren dient dazu, das Werkzeug einer NC-Werkzeugmaschine auf Bruch oder Verschleiß zu überwachen. Dazu wird das Werkzeug bei der Zustellung oder beim Zurückziehen in Werkzeuglängsrichtung durch eine quer zur Vorschubrichtung des Werkzeuges stehende optische Meßebene gefahren. Diese Meßebene wird durch eine Laserlichtschranke gebildet, wobei die Unterbrechung der Lichtschranke als Signal ausgewertet und die aktuelle relative Position der das Werkzeug aufnehmenden Spindel gemessen wird.

Um die Länge des Werkzeuges bestimmen zu können, muß ferner die relative Lage der Lichtschranke zu dem Nullpunkt des Wegmeßsystems bekannt sein, mittels dessen die Position der Spindel ermittelt wird.

Durch eine einfache Differenzbildung zwischen der relativen Lage der Lichtschranke und der momentanen Lage der Spindel oder des Spindelstocks kann dann die Länge des Werkzeuges berechnet werden. Durch Vergleich der berechneten Länge mit einer Sollänge kann dann auf Verschleiß oder Bruch geschlossen werden.

Um die aus einem Geber und einem Sensor bestehende Lichtschranke vor Verschmutzung durch Kühlwasser, Späne oder andere Verunreinigungen zu schützen, sind Abdeckkappen vorgesehen. Ferner sind Blasdüsen vorhanden, um den Geber und den Sensor zu reinigen.

Bei dem bekannten Verfahren ist von Nachteil, daß die Genauigkeit der Längenbestimmung davon abhängt, wie genau die relative Lage der Lichtschranke bekannt ist. Kommt es beispielsweise während der Arbeitsvorgänge der Werkzeugmaschine zu thermischen Deflektionen oder sonstigen Lageveränderungen zwischen der Lichtschranke und dem Referenzpunkt des Wegmeßsystems, ist eine genaue Längenbestimmung des Werkzeuges nicht mehr möglich.

Ferner wird die Längenbestimmung des Werkzeuges durch im Bearbeitungsraum befindliche Verunreinigungen der Luft beeinträchtigt, denn diese Verunreinigungen führen zu einem Signalabfall in der Lichtschranke, welcher sich dem Signalabfall überlagert, der durch ein

in den Strahl eintauchendes Werkzeug hervorgerufen wird. Auf diese Weise ist die Messung der momentanen relativen Lage des Spindelstocks mit einem großen Unsicherheitsfaktor versehen. Dies führt zu einer großen Meßgenauigkeit bei der Bestimmung der Länge des Werkzeuges.

Je ungenauer jedoch die aktuelle Länge des Werkzeuges bestimmt werden kann, desto unsicherer sind auch Aussagen über Bruch oder Verschleiß, die mit dem bekannten Verfahren gewonnen werden sollen.

Ferner ist aus der EP 0 346 288 A1 ein Verfahren bekannt, bei dem ein Werkzeug teilweise in einen breiten Laserstrahl hineingefahren wird, um den Durchmesser, die Exzentrizität und die Rundheit des Werkzeuges zu bestimmen. Eine Längenmessung ist aus dieser Druckschrift nicht bekannt.

Im übrigen weist dieses Verfahren dieselben Nachteile auf, wie sie oben bereits im Zusammenhang mit dem aus der EP 0 098 930 A2 bekannten Verfahren beschrieben wurden, insbesondere ist es nicht für den Einsatz bei laufenden Werkzeugmaschinen im Betrieb gedacht.

Ferner offenbart die WO 87/07550 ein Verfahren, bei dem Schneidkanten mit einem Laserstrahl und CCD-Kameras vollständig vermessen werden.

Die DE 22 31 776 B2 offenbart eine Vorrichtung, bei der eine langgestreckte Lichtquelle teilweise von einem zu vermessenden Gegenstand abgeschattet wird, so daß je nach der Geometrie des Gegenstandes mehr oder weniger Licht auf einen Meßsensor fällt. Licht der gleichen Lichtquelle wird außerdem unbehindert auf einen Referenzsensor abgebildet. Eine Quotientenbildung der Signale beider Sensoren ermöglicht es, daß Einflüsse des Umgebungslichtes oder im Betrieb auftretende Schwankungen der Helligkeit der Lichtquelle keine Wirkung auf das Meßsignal ausüben.

Schließlich ist es aus dem Buch von Hans Hart: "Einführung in die Meßtechnik", VEB-Verlag Technik, Berlin, 1977, Seiten 330—333, allgemein bekannt, daß Geräte vor Inbetriebnahme durch Normale abgeglichen werden können.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, das eingangs genannte Verfahren dahingehend weiterzubilden, daß genannte Nachteile vermieden und die Meßgenauigkeit sowie die Reproduzierbarkeit beim Vermessen des Werkzeuges erhöht werden. Außerdem soll das neue Verfahren dazu beitragen, daß die Werkzeugmaschine selbst mit größerer Genauigkeit betrieben werden kann.

Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren, bei dem das Meßsystem einen dünnen Laserstrahl aufweist, einerseits dadurch gelöst, daß das Verfahren bei sich drehendem Werkzeug auch in einer quer zur Längsrichtung des Werkzeuges verlaufenden Koordinate durchgeführt wird, um im Betrieb zusätzlich Rundheit und Durchmesser des Werkzeuges zu bestimmen.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird auf diese Weise gelöst. Weil jetzt nämlich auch die Abmaße des Werkzeuges in Querrichtung vermessen werden können, lassen sich sowohl der Durchmesser des Werkzeuges als auch Rundheitsfehler vermessen. Verschleiß und Bruch müssen sich nicht zwingend in der Länge des Werkzeuges widerspiegeln. Vielmehr ist es durchaus auch möglich, daß die beim Bearbeiten eines Werkstückes auftretenden Abnutzungen des Werkzeuges den Durchmesser oder die Rundheit des letzteren beeinträchtigen. Derartige Beeinträchtigungen wieder-

um führen zu einer Verschlechterung der Bearbeitungsqualität, welche mit der Werkzeugmaschine erzielt werden kann.

Zur Durchführung dieses Verfahrens muß die Werkzeugmaschine natürlich in der Lage sein, das Werkzeug tangential zu der Meßebene zuzustellen.

Die Aufgabe wird weiterhin dadurch gelöst, daß bei dem eingangs genannten Verfahren vor dem Vermessen des Werkzeuges ein Meßwerkzeug mit definierten Abmaßen vermessen wird, und daß aus dem Lagemeßwert für das Meßwerkzeug und den definierten Abmaßen die relative Lage der Meßebene bestimmt wird, wobei das Verfahren auf einer Werkzeugmaschine mit automatischem Werkzeugwechsel durchgeführt und die relative Lage zwischen Werkzeugwechseln auf diese Weise immer wieder bestimmt wird, um so Parameter der Maschineneinstellung im Betrieb zu kontrollieren und ggf. ändern zu können.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird auch auf diese Weise gelöst. Weil nämlich jetzt die relative Lage der Meßebene im Betrieb der Werkzeugmaschine jederzeit neu vermessen werden kann, können Deflektionen der Maschine erkannt und berücksichtigt werden. Thermische Ausdehnungen der Maschine oder sonstige Lageveränderungen der Meßebene werden somit erkannt und führen nicht mehr zu einer Fehlberechnung der Abmaße des zu vermessenden Werkzeuges. Damit wird sowohl die Meßgenauigkeit als auch die Reproduzierbarkeit bei dem erfindungsgemäßen Verfahren deutlich erhöht. Weil nun aber die aktuellen Abmaße des Werkzeuges genauer vermessen werden können, kann auch die Werkzeugmaschine mit höherer Betriebssicherheit und Genauigkeit arbeiten.

Schließlich wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe auch dadurch gelöst, daß bei dem eingangs genannten Verfahren, bei dem das Meßsystem einen dünnen Laserstrahl aufweist, das Meßsignal des Meßsystems mit einem Vergleichswert verglichen wird, um festzustellen, ob das Werkzeug den Laserstrahl unterbricht, und der Vergleichswert mit einem zweiten Meßsystem ermittelt wird, das beim Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebene von diesem nicht beeinflußt wird, um den aktuellen Verschmutzungsgrad der Luft im Arbeitsraum zu berücksichtigen.

Auch durch diese Maßnahme wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst. Durch den Vergleich des Meßsignals mit einem Vergleichswert werden nämlich die in dem Arbeitsraum der Werkzeugmaschine vorhandenen Verunreinigungen sozusagen "ausgeblendet", denn in dem Vergleichswert kann der aktuelle Verschmutzungsgrad der Luft in dem Arbeitsraum berücksichtigt werden.

Die Unsicherheit bei der Messung der momentanen relativen Lage des Spindelstockes wird dadurch drastisch reduziert, was wiederum zu einer genaueren Messung der Abmaße des Werkzeuges führt. Dies wiederum führt dazu, daß die Werkzeugmaschine mit höherer Genauigkeit betrieben werden kann.

Weiter ist von Vorteil, daß der Vergleichswert sozusagen zeitgleich mit dem Meßsignal bestimmt werden kann, so daß auch eine sich schnell ändernde Verschmutzung im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine keinen Einfluß auf die Meßgenauigkeit ausüben kann.

Insbesondere ist es bevorzugt, wenn mehrere der vorstehend erwähnten Maßnahmen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführt werden.

Dies ist deshalb von Vorteil, weil durch die Kombination der vorstehend erwähnten Maßnahmen die Meßge-

nauigkeit noch einmal gesteigert werden kann. Zum Beispiel ist für die Bestimmung des Durchmessers oder der Rundheit eines Werkzeuges eine viel größere Meßgenauigkeit erforderlich als für die Bestimmung der Länge eines Werkzeuges. Wenn also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren beispielsweise die Meßgenauigkeit durch Verwendung eines Vergleichswertes und/oder durch Verwendung eines Meßwerkzeuges zur Bestimmung der relativen Lage der Meßebene erhöht wird, lassen sich der Durchmesser und die Rundheit des Werkzeuges noch genauer bestimmen.

Aber auch bei der Längenbestimmung eines Werkzeuges hat die Kombination der Maßnahmen "Meßwerkzeug" und "Vergleichswert" den kumulativen Vorteil, daß die Meßgenauigkeit noch einmal deutlich gesteigert wird.

All dies führt dazu, daß die Abmaße des Werkzeuges genauer bekannt sind und somit die Werkzeugmaschine mit höherer Auflösung und größerer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit betrieben werden kann.

Dabei ist es ferner bevorzugt, wenn der Vergleichswert periodisch wiederkehrend gemessen wird.

Diese Maßnahme ist insbesondere dann von Vorteil, wenn größere Verunreinigungen, wie Späne, durch den Arbeitsraum fliegen, während die Messung vorgenommen wird. Diese Verunreinigungen können nämlich das Meßsystem zum Ansprechen bringen, obwohl das Werkzeug noch gar nicht in die Meßebene eingetaucht ist. Da die Späne ihre Lage im Arbeitsraum jedoch relativ schnell verändern, ist ihr Einfluß bei der nächsten Messung schon nicht mehr vorhanden, so daß auch derartige Verschmutzungen ausgeblendet werden können.

In Fortbildung der Maßnahme, das Meßsignal mit einem Vergleichswert zu vergleichen, ist hier von Vorteil, daß der Meßwert und der Vergleichswert zeitgleich bestimmt werden, so daß auch schnelle Veränderungen in der Verschmutzung des Arbeitsraumes ausgeblendet werden.

In einer Weiterbildung ist es bevorzugt, wenn das Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebene durch eine Differenzmessung ermittelt wird.

In einer Weiterbildung der genannten Verfahren ist es bevorzugt, wenn sie bei drehendem Werkzeug durchgeführt werden, sofern dies nicht schon grundsätzlicher Bestandteil eines der genannten Verfahren ist, und wenn das Meßsystem periodisch Meßwerte liefert.

Diese Maßnahme trägt insgesamt dazu bei, daß das erfindungsgemäße Verfahren schneller durchgeführt werden kann. Es muß nämlich nicht mehr gewartet werden, bis das Werkzeug zum Stillstand abgebremst werden ist.

Durch Meßwerte von einem sich drehenden Werkzeug kann außerdem leicht auf die Rundheit des Werkzeuges geschlossen werden. Ein unruhiges Werkzeug wird nämlich bei tangentialem Anfahren an die Meßebene zeitweise in die Meßebene eintauchen und diese zeitweise wieder verlassen, so daß die Meßwerte im Rhythmus des sich drehenden Werkzeuges bedingt durch die mangelnde Rundheit des letzteren periodisch schwanken. Das Erkennen der fehlenden Rundheit des Werkzeuges erhöht jedoch wieder die Betriebssicherheit und Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine.

Hier ist es weiter bevorzugt, wenn die Drehzahl des Werkzeuges derart an die Meßperiode des Meßsystems angepaßt ist, daß die Drehzahl und die Meßperiode nicht miteinander synchronisiert sind.

Unter nicht synchronisiert ist hier zu verstehen, daß

die Meßperiode von der Zeit für eine Umdrehung des Werkzeuges, vorzugsweise von einem ganzzahligen Vielfachen oder einem ganzzahligen Teil dieser Zeit verschieden ist.

Auf diese Weise wird erreicht, daß während der gesamten Meßdauer Meßwerte von mehreren Punkten längs des Umfanges des Werkzeuges genommen werden. Auf diese Weise können auch kleine Abweichungen in der Rundheit des Werkzeuges erfaßt werden, was wiederum die Meßgenauigkeit, die Reproduzierbarkeit und die Bearbeitungsgenauigkeit erhöht.

Bei dem Verfahren, das auf einer Werkzeugmaschine mit automatischem Werkzeugwechsel durchgeführt wird und bei dem zwischen den Werkzeugwechseln immer wieder die relative Lage der Meßebene bestimmt wird, kann aus Veränderungen in der relativen Lage der Meßebene dann auf thermische Deflektionen oder sonstige Verlagerungen in der Maschine geschlossen werden. Diese Erkenntnis wird dann nicht nur bei der Bestimmung der Abmaße des jeweils verwendeten Werkzeuges genutzt, sie kann auch dazu verwendet werden, sonstige Parameter der Maschineneinstellung zu verändern oder zu kontrollieren.

Weiterhin ist es bei einer Maschine mit automatischem Werkzeugwechsel von Vorteil, wenn die Meßebene derart angeordnet ist, daß das jeweilige Werkzeug beim Zustellen zu einem zu bearbeitenden Werkstück in die Meßebene eintaucht. Auf diese Weise werden "Totzeiten" zwischen den einzelnen Bearbeitungsgängen klein gehalten, denn zum Werkzeugwechsel muß die Spindel zunächst vom Werkstück weggeföhrt und dann mit dem neuen Werkzeug wieder zugestellt werden. Wird dabei die Meßebene durchquert, kann sozusagen während des Zustellens das Vermessen des Werkzeuges erfolgen. Hierbei ist zu beachten, daß die Meßperiode des Meßsystems, verglichen mit der Zustellgeschwindigkeit des Werkzeuges, hinreichend klein sein muß. Je mehr Meßwerte nämlich pro zurückgelegtem Wegelement des Werkzeuges genommen werden können, umso feiner läßt sich dieses Wegstück unterteilen. Ist also beispielsweise eine Auflösung von 0,1 mm gewünscht und wird das Werkzeug mit 10 mm pro Sekunde zugestellt, so müssen mindestens 100 Meßwerte pro Sekunde genommen werden, um die gewünschte Auflösung von 0,1 mm zu erreichen.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung und der beigefügten Zeichnung.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Werkzeugmaschine in Seitenansicht, auf der das neue Verfahren durchgeführt wird, wobei das Werkzeug nicht in die Meßebene eingetaucht ist;

Fig. 2 eine Darstellung wie Fig. 1, wobei das Werkzeug jedoch gerade in die Meßebene eintaucht;

Fig. 3 eine Darstellung längs der Linie III-III aus Fig. 2;

Fig. 4 ein zweites Meßsystem für die Meßebene, in einer ausschnittsweisen Darstellung, in der Ansicht der Fig. 3; und

Fig. 5 in einer Darstellung wie Fig. 4 ein drittes Meßsystem für die Meßebene.

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Seitenansicht einer Werkzeugmaschine 10. Die Werkzeugmaschine 10 umfaßt einen bei 11 angedeuteten Werkstücktisch zur Aufnahme eines zu bearbeitenden Werkstückes, das der Übersicht halber nicht dargestellt ist. Ferner

ist ein Spindelstock 12 vorgesehen, in welchem eine bei 13 angedeutete Spindel drehbar und angetrieben gelagert ist. In der Spindel 13 sitzt ein auf den Werkstücktisch 11 zuweisendes Werkzeug 14.

5 Der Spindelstock 12 ist in den drei angedeuteten Koordinaten X, Y und Z relativ zu dem Werkstücktisch verfahrbar. Zur Bestimmung der relativen Lage des Spindelstocks in Z-Richtung ist ein Wegmeßsystem 15 mit einem bei 16 angedeuteten Z-Maßstab vorgesehen. 10 Mit 17 ist ein Referenzpunkt für die Z-Richtung angedeutet, welcher bei dem gewählten Koordinatensystem der X/Y-Ebene entspricht.

Zur Bestimmung der relativen Lage des Spindelstocks 12 in Z-Richtung ist an dem Spindelstock 12 eine 15 Referenzebene festgelegt, welche mit dem Übergang zwischen Spindel 13 und Werkzeug 14 übereinstimmt. Diese Referenzebene ist in Fig. 1 durch einen Meßpfeil 19 angedeutet, welcher auf den Maßstab 16 weist. Der Abstand zwischen dem Referenzpunkt 17 und dem Meßpfeil 19 gibt jeweils die relative Lage des Spindelstocks 12 an.

Auf dem Werkstücktisch 11 ist ein optisches Meßsystem 21 angeordnet, das im vorliegenden Falle eine Lichtschranke 22 ist. Die Lichtschranke 22 umfaßt einen Geber 23, der hier als Laserlichtquelle 24 ausgebildet ist.

Ferner ist ein Empfänger 25 vorhanden, der als Fotozelle 26 ausgebildet ist. Dem Empfänger 25 ist eine Auswerteeinheit 27 zugeordnet.

Die Laserlichtquelle 24 gibt einen Laserstrahl 28 aus, 30 welcher auf die Fotozelle 26 gerichtet ist. Durch den Laserstrahl 28 wird eine optische Meßebene 29 aufgespannt, welche in Fig. 1 parallel zu der X/Y-Ebene verläuft.

Die Meßebene 29 ist in einem Abstand Rz zu dem 35 Referenzpunkt 17 angeordnet. Dieser Abstand Rz ist entweder als Maschinenparameter bekannt, er kann aber auch berechnet werden. Dies wird nachstehend noch beschrieben werden.

Während in Fig. 1 das Werkzeug 14 noch nicht in die Meßebene 29 eingetaucht ist, ist in Fig. 2 der Fall dargestellt, bei dem das Meßwerkzeug 14 gerade in die Meßebene 29 eintaucht und den Laserstrahl 28 unterbricht. Der Laserstrahl 28 wird nun entweder überhaupt nicht mehr auf die Fotozelle 26 auftreffen, oder aber nur noch mit verminderter Strahlleistung, was durch die gestrichelte Darstellung des Laserstrahles 28' in Fig. 2 links von dem Werkzeug 14 angedeutet ist.

Das Unterbrechen des Laserstrahles 28 oder die Herabsetzung seiner Intensität wird von der Auswerteeinheit 27 erkannt. Die Auswerteeinheit 27 fragt dann die momentane relative Lage Pzm des Spindelstocks 12 bezogen auf den Referenzpunkt 17 ab.

In der in Fig. 2 gezeigten Stellung des Spindelstocks 12 ist die geometrische Beziehung zwischen der relativen Lage der Meßebene 29 und des Spindelstocks 12 derart, daß die Länge l des Werkzeuges 14 sich aus der Differenz zwischen Rz und Pzm ergibt. Die Länge l des Werkzeuges 14 ist dabei so definiert, daß sie dem Abstand von der Werkzeugspitze zu der durch den Meßpfeil 19 angedeuteten Referenzebene am Spindelstock entspricht.

Zwischen den Stellungen gemäß Fig. 1 und Fig. 2 ist der Spindelstock 12 in Z-Richtung verfahren worden. Das Meßsystem 21 ist jetzt so ausgelegt, daß die Auswerteeinheit 27 die Fotozelle 26 mit einer Meßperiode abfragt, die auf die Verfahrgeschwindigkeit des Spindelstocks 12 in Z-Richtung sowie auf die gewünschte Auflösung abgestimmt ist. Je schneller der Spindelstock 12

verfahren wird und je höher die gewünschte Auflösung ist, desto kleiner muß die Meßperiode sein. Je höher also der Verfahrtsweg des Spindelstockes 12 pro Zeiteinheit ist, desto mehr Meßwerte müssen je Zeiteinheit genommen werden. Beträgt die Zustellgeschwindigkeit beispielsweise 10 mm pro Sekunde und soll die Meßgenauigkeit bei 0,1 mm liegen, so müssen mindestens 100 Meßwerte pro Sekunde genommen werden. Durch eine Erhöhung der Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit kann dabei also auch die Meßgenauigkeit erhöht werden.

Es hat sich nun gezeigt, daß sich während der Betriebszeit der Werkzeugmaschine durch thermische Deflektionen oder andere Lageveränderungen die relative Lage Rz der Meßebene 29 bezogen auf den Referenzpunkt 17 verändert. Da dies die Meßgenauigkeit ebenfalls beeinflußt, ist nunmehr vorgesehen, mit Hilfe eines Meßwerkzeuges 31 die relative Lage Rz zu vermessen. Dazu wird statt eines Werkzeuges 14 ein Meßwerkzeug 31 in die Spindel 13 eingespannt, dessen Länge l bekannt ist.

Nunmehr wird für das Meßwerkzeug 31 das oben beschriebene Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges durchgeführt, wobei jedoch die relative Lage Rz der Meßebene 29 zu bestimmen ist. Aus der in Fig. 2 hervorgehenden geometrischen Beziehung ergibt sich, daß Rz der Summe der momentanen relativen Lage Pzm und der Länge l entspricht.

Das Einwechseln eines Meßwerkzeuges kann bei Werkzeugmaschinen mit automatischem Werkzeugwechsel während der Bearbeitung eines Werkstückes mit unterschiedlichen Werkzeugen immer wieder zwischen den einzelnen Werkzeugwechseln erfolgen, so daß über die gesamte Bearbeitungszeit eine Kontrolle der Lage der Meßebene 29 erfolgt. Dies erhöht nicht nur die Genauigkeit bei der Vermessung des jeweilig verwendeten Werkzeuges, es können somit auch Lageveränderungen innerhalb der Maschine erkannt und entsprechend berücksichtigt werden.

Fig. 3 zeigt in einer Draufsicht der Anordnung aus Fig. 2 eine zweite optische Meßebene 32, welche in der X/Z-Ebene liegt. Auch die Meßebene 32 wird durch den Laserstrahl 28 aufgespannt.

Ferner ist ein Wegmeßsystem 33 für die Y-Richtung dargestellt, das einen Y-Referenzpunkt 34 sowie einen Y-Maßstab 35 umfaßt. Mit Hilfe des Wegmeßsystems 33 wird die relative Lage Py des Spindelstockes 12 in Y-Richtung vermessen.

Ferner ist ein Meßgerät 36 angedeutet, welches die von der Auswerteeinheit 27 abgegebenen Meßsignale anzeigen soll. Eine derartige Anzeige ist selbstverständlich nicht erforderlich, hierdurch soll lediglich das Meßsignal als solches gegenständlich dargestellt werden.

Ferner weist die Auswerteeinheit 27 einen Ausgang 37 auf, an welchem angezeigt wird, ob ein Werkzeug 14 bzw. ein Meßwerkzeug 31 in die Meßebene 29 bzw. 32 eingetaucht ist.

In Fig. 3 ist mit 38 noch ein Meßpfeil angedeutet, welcher durch die Drehachse des Werkzeuges 14 verläuft. Der Abstand zwischen dem Meßpfeil 38 und dem Referenzpunkt 34 gibt die relative Lage Py des Spindelstockes 12 in Y-Richtung an. Ein dem Wegmeßsystem 33 entsprechendes Wegmeßsystem ist auch für die X-Richtung vorgesehen, jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

In der mit 14' dargestellten Lage des Werkzeuges 14 gibt die Auswerteeinheit 27 an ihrem Ausgang 37 ein Signal aus, das andeutet, daß das Werkzeug 14 gerade in die Meßebene 32 eintaucht. Jetzt wird die momentane

relative Lage Pym des Spindelstockes 12 bzw. des Meßpfeiles 38 gemessen und durch Differenzbildung mit der relativen Lage Ry des Laserstrahles 28 in der X/Z-Ebene der Radius des Werkzeuges 14 bestimmt.

5 Verwendet man jetzt wieder ein Meßwerkzeug 31, dessen Radius r bekannt ist, so kann man mit Hilfe der momentanen Lage Pym die relative Lage Ry der Meßebene 32 berechnen.

Somit können auch Verschiebungen innerhalb der 10 Werkzeugmaschine in Y-Richtung erkannt werden. Durch ein weiteres optisches Meßsystem, das in Y-Richtung ausgerichtet ist, können entsprechende Messungen auch für die X-Richtung vorgenommen werden.

Im folgenden ist bezüglich der Meßgenauigkeit noch 15 zu bedenken, daß in dem Arbeitsraum der Werkzeugmaschine eine überpeste Luft vorhanden ist, welche zusätzlich mit kleinen Verunreinigungen in Form von Spänen und sonstigem Abrieb belastet ist. Diese Verunreinigungen driften im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine 10 umher und führen dazu, daß der Laserstrahl 28 mit unterschiedlicher Intensität auf der Fotozelle 26 auftrifft. Um nun zu verhindern, daß bereits ein Signalabfall durch derartige Verunreinigungen dazu führt, daß das Eintauchen des Werkzeuges 14 in die Meßebene 32 oder 29 angenommen wird, wird das aktuelle Meßsignal der Auswerteeinheit bzw. der Fotozelle 26 jeweils mit einem Referenzwert verglichen. Dieser Referenzwert wird periodisch genommen und entspricht im einfachsten Ausführungsbeispiel dem zuletzt genommenen Meßwert.

30 Das bedeutet, daß der aktuelle Meßwert jeweils mit dem zuletzt genommenen Meßwert verglichen wird, und daß aus dem Vergleich darauf geschlossen wird, ob ein Werkzeug 14 in die Meßebene 32 eintaucht. Hierbei wird davon ausgegangen, daß die Änderung der Intensität des Laserstrahles durch die im Arbeitsraum vorhandenen Verunreinigungen gering ist verglichen mit der Änderung der Intensität durch das Eintauchen eines Werkzeuges 14. Wird jedoch einmal ein drastischer Intensitätsabfall, beispielsweise um 60%, erkannt, so wird der zuletzt genommene Meßwert als Vergleichswert für alle folgenden Messungen beibehalten. Auf diese Weise kann die Wirkung der Verunreinigungen sozusagen ausgeblendet werden.

Anhand der Tabelle 1 soll jetzt beschrieben werden, wie mit dem insoweit beschriebenen Verfahren auch die Rundheit eines Werkzeuges 14 bestimmt werden kann. In der Tabelle 1 sind in der linken Spalte fünf verschiedene Zustände während des Eintauchens eines Werkzeuges 14 in die Meßebene 32 dargestellt. In der mittleren Spalte ist das jeweils zugehörige Meßsignal der Auswerteeinheit 27 angegeben, wobei mit U₀ der Vergleichswert bezeichnet ist.

In der rechten Spalte findet sich der Ausgang 37 der Auswerteeinheit 27 wieder, wobei ein Plus-Zeichen das Erkennen des Eintauchens eines Werkzeuges bezeichnet.

In der obersten Zeile ist das Werkzeug 14 noch so weit von der Meßebene 32 entfernt, daß trotz der in Tabelle 1 überdeutlich dargestellten Unrundheit des Werkzeuges 14 der Laserstrahl 28 nie unterbrochen wird. Das Meßsignal beträgt hier beispielsweise 30 mV. Der Ausgang 37 gibt kein Signal aus.

In der zweiten Zeile hat sich das Werkzeug 14 tangential der Meßebene 32 genähert, ist jedoch noch nicht in die Meßebene 32 eingetaucht. Bedingt durch Verunreinigungen im Arbeitsraum ist das Meßsignal inzwischen auf 27 mV abgesunken, der Ausgang 37 zeigt jedoch noch kein eingetauchtes Werkzeug an.

In der dritten Zeile hat sich das Werkzeug 14 um ca. 90° gedreht, so daß der Laserstrahl 28 jetzt vollständig unterbrochen ist. Das Meßsignal beträgt jetzt nur noch 10 mV. Die Auswerteeinheit 27 erkennt diesen drastischen Signalabfall und nimmt das letzte Meßsignal (aus der zweiten Zeile) von 27 mV als Vergleichswert. Ferner wird an dem Ausgang 37 das Eintauchen eines Werkzeuges 14 angezeigt.

In der vierten Zeile hat sich zwar der Abstand des Werkzeuges 14 zu der Meßebene 32 nicht geändert, bedingt durch die Drehung des unruhigen Werkzeuges wird der Laserstrahl 28 jedoch nicht mehr unterbrochen. Dementsprechend liefert die Fotozelle ein Meßsignal von 28 mV, das mit dem Vergleichswert U_0 von 27 mV verglichen wird. Aus dem Vergleich erkennt die Auswerteeinheit, daß kein Werkzeug mehr eingetaucht ist.

In der letzten Zeile der Tabelle 1 hat sich das Werkzeug 14 um weitere 90° gedreht und ist wieder in den Laserstrahl 28 eingetaucht. Das Meßsignal beträgt jetzt 12 mV, wobei die Abweichung zu dem Wert aus der dritten Zeile durch atmosphärische Änderungen im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine bedingt ist. Durch den Vergleich zwischen den 12 mV und U_0 von 27 mV erkennt die Auswerteeinheit 17 wieder das Eintauchen eines Werkzeuges 14 und zeigt dies am Ausgang 37 an.

Hier ist jetzt zu erwähnen, daß die Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit und die Zahl der Umdrehungen des Werkzeuges pro Zeiteinheit derart aufeinander abgestimmt sind, daß keine Synchronisation stattfindet. Das bedeutet, daß die Meßperiode von der Zeit für eine Umdrehung des Werkzeuges, vorzugsweise sogar von einem ganzzahligen Vielfachen oder einem ganzzahligen Teil dieser Zeit verschieden ist. Mit anderen Worten erfäßt das Meßsystem das Werkzeug 14 pro Meßwert jeweils in einem anderen Drehungszustand, so daß die Unruhigkeit sicher erkannt werden kann.

Die Tabelle 1 gibt selbstverständlich nur einen kurzen Ausschnitt aus dem gesamten Meßablauf. Die Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeuges 14 in Y-Richtung ist, verglichen mit der Drehzahl des Werkzeuges 14 und der Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit, derart gering, daß die Unruhigkeit quasi stationär gemessen wird.

Dadurch, daß der Meßwert jeweils mit einem zuvor genommenen Vergleichswert verglichen wird, um auf das Eintauchen eines Werkzeuges 14 in die Meßebene 32 bzw. 29 zu schließen, sind hier keine besonderen Maßnahmen zum Schutz des Gebers 23 bzw. des Empfängers 25 vorgesehen. Die Verschmutzungen werden sozusagen automatisch ausgeblendet.

In Fig. 4 ist ein weiteres optisches Meßsystem 39 dargestellt, wie es bei der Werkzeugmaschine nach den Fig. 1 bis 3 und dem darauf durchgeführten Verfahren verwendet werden kann.

Das Meßsystem 39 umfaßt sozusagen ein weiteres System 40, das dem ursprünglichen Meßsystem 21 parallelgeschaltet ist. Zu diesem Zweck wird der Laserstrahl 28 mit einem Strahleiter 41 und einem Umlenkspiegel 42 in zwei parallele Laserstrahlen 28' und 28'' aufgeteilt. Mit Hilfe eines weiteren Umlenkspiegels 43 und einem einseitig verspiegelten Umlenkspiegel 45 wird der Laserstrahl 28'' ebenfalls auf die Fotozelle 26 gelenkt.

Im Strahlengang beider Laserstrahlen 28' und 28'' sind Fotoverschlüsse oder Shutter 47 und 48 vorgesehen, welche über Steuerleitungen 49 und 50 von der Auswerteeinheit 27 geschaltet werden.

Die Auswerteeinheit 27 schaltet die Shutter 47 und 48

im Gegentakt, so daß die Fotozelle 26 entweder den Laserstrahl 28' oder den Laserstrahl 28'' mißt. Da das Werkzeug 14 nur in den Laserstrahl 28' eintaucht, der Laserstrahl 28'' also davon unberührt bleibt, findet die Vergleichsmessung zwischen zwei nahezu zeitgleich genommenen Meßwerten statt. Dabei ist insbesondere von Vorteil, daß nur eine einzige Laserlichtquelle 24 und nur eine einzige Fotozelle 26 erforderlich sind. Auch auf diese Weise können also Verunreinigungen der Luft im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine ausgeblendet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Ausblendung von Verunreinigungen ist in Fig. 5 dargestellt. Das hier gezeigte Meßsystem 51 weist ebenfalls einen zweiten Pfad 52 auf, für den zweiten Laserstrahl 28'' ist jedoch eine gesonderte Fotozelle 53 vorgesehen. Über die Verbindungsleitung 54 wird die Fotozelle 53 ebenfalls von der Auswerteeinheit 27 ausgelesen, welche eine Differenzmessung zwischen den Fotozellen 26 und 53 durchführt. Auf diese Weise werden die beiden parallel verlaufenden Laserstrahlen 28' und 28'' zeitgleich ausgelesen und miteinander verglichen, so daß das Eintauchen des Werkzeuges 14 unabhängig von Verunreinigungen gemessen werden kann.

Sämtliche insoweit beschriebenen Verfahren zum Be seitigen der Einflüsse von Verunreinigungen im Arbeitsraum erhöhen ursichtlicherweise die Meßgenauigkeit des Systems.

Da der verwendete Laserstrahl 28 nur einen sehr geringen Durchmesser hat, kann die relative Lage Pym bzw. Pzm des Spindelstockes 12 auf einen Bruchteil des Durchmessers des Laserstrahles und damit auf einen Bruchteil eines Millimeters genau bestimmt werden. Dieses führt im Zusammenhang mit der hohen Auflösung des Meßsystems dazu, daß nicht nur eine sehr genaue Vermessung eines in der Werkzeugmaschine jeweils verwendeten Werkzeuges 14 sowohl in der Länge als auch im Durchmesser möglich ist, außerdem kann die Rundheit eines rotierenden Werkzeuges schnell ermittelt werden.

Durch alle insoweit beschriebenen Maßnahmen wird die Genauigkeit beim Vermessen eines Werkzeuges deutlich erhöht. Weiterhin bietet das neue Verfahren den Vorteil, daß auch Lageveränderungen innerhalb der Werkzeugmaschine erkannt werden können, wenn ein Meßwerkzeug vermessen wird, dessen Abmaße definiert und bekannt sind. Die dabei gewonnenen Werte können wiederum eingesetzt werden, wenn die nächsten Bearbeitungswerkzeuge 14 vermessen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel (13) einer Werkzeugmaschine (10), bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel (13) aufnehmenden Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird, wobei die relative Lage (Pz) des Spindelstockes (12) zu einem Referenzpunkt (34, 17) mittels eines Wegmeßsystems (33, 15) bestimmt wird, das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten (Z) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate (Z) verlaufenden optischen Meßebene (32, 29) mit zugeordnetem optischem Meßsystem (21, 39, 51) mit dünnem Laserstrahl zugestellt wird, das Meßsystem (21, 39, 51) ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebene (32, 29) eintaucht, bei Eintauch-

chen des Werkzeuges (14) in die Meßebene (32, 29) die momentane relative Lage (Pzm) des Spindelstockes (12) als Lagemeßwert (Pzm) gemessen wird, und aus dem Lagemeßwert (Pzm) sowie aus der relativen Lage (Rz) der Meßebene (32, 29) zu dem Referenzpunkt (34, 17) die Abmaße (l) des Werkzeuges (14) in der Koordinate (Z) berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren bei sich drehendem Werkzeug (14) auch in einer quer zur Längsrichtung (Z) des Werkzeuges (14) verlaufenden Koordinate (Y) durchgeführt wird, um im Betrieb zusätzlich Rundheit und Durchmesser (r) des Werkzeuges (14) zu bestimmen.

2. Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel (13) einer Werkzeugmaschine (10), bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel (13) aufnehmenden Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird, wobei die relative Lage (Py, Pz) des Spindelstockes (12) zu einem Referenzpunkt (34, 17) mittels eines Wegmeßsystems (33, 15) bestimmt wird, das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten (Y, Z) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate (Y, Z) verlaufenden optischen Meßebene (32, 29) mit zugeordnetem optischem Meßsystem (21, 39, 51) zugestellt wird, das Meßsystem (21, 39, 51) ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebene (32, 29) eintaucht, bei Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebene (32, 29) die momentane relative Lage (Pym, Pzm) des Spindelstockes (12) als Lagemeßwert (Pym, Pzm) gemessen wird, und aus dem Lagemeßwert (Pym, Pzm) sowie aus der relativen Lage (Ry, Rz) der Meßebene (32, 29) zu dem Referenzpunkt (34, 17) die Abmaße (r, l) des Werkzeuges (14) in der Koordinate (Y, Z) berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Vermessen des Werkzeuges (14) ein Meßwerkzeug (31) mit definierten Abmaßen (r, l) vermessen wird, und daß aus dem Lagemeßwert (Pym, Pzm) für das Meßwerkzeug (31) und den definierten Abmaßen (r, l) die relative Lage (Ry, Rz) der Meßebene (32, 29) bestimmt wird, wobei das Verfahren auf einer Werkzeugmaschine (10) mit automatischem Werkzeugwechsel durchgeführt und die relative Lage (Ry, Rz) der Meßebene (32, 29) zwischen Werkzeugwechseln auf diese Weise immer wieder bestimmt wird, um so Parameter der Maschineneinstellung im Betrieb zu kontrollieren und ggf. verändern zu können.

3. Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel (13) einer Werkzeugmaschine (10), bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel (13) aufnehmenden Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird, wobei die relative Lage (Py, Pz) des Spindelstockes (12) zu einem Referenzpunkt (34, 17) mittels eines Wegmeßsystems (33, 15) bestimmt wird, das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten (Y, Z) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate (Y, Z) verlaufenden optischen Meßebene (32, 29) mit zugeordnetem optischem Meßsystem (21, 39, 51) mit dünnem Laserstrahl zugestellt wird, das Meßsystem (21, 39, 51) ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebene (32, 29) eintaucht, bei Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meß-

ebene (32, 29) die momentane relative Lage (Pym, Pzm) des Spindelstockes (12) als Lagemeßwert (Pym, Pzm) gemessen wird, und aus dem Lagemeßwert (Pym, Pzm) sowie aus der relativen Lage (Ry, Rz) der Meßebene (32, 29) zu dem Referenzpunkt (34, 17) die Abmaße (r, l) des Werkzeuges (14) in der Koordinate (Y, Z) berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsignal des Meßsystems (21, 39, 51) mit einem Vergleichswert (U₀) verglichen wird, um festzustellen, ob das Werkzeug (14) den Laserstrahl unterbricht, und der Vergleichswert (U₀) mit einem zweiten Meßsystem (52) ermittelt wird, das beim Eintauchen des Werkzeuges (14, 31) in die Meßebene (32, 29) von diesem nicht beeinflußt wird, um den aktuellen Verschmutzungsgrad der Luft im Arbeitsraum zu berücksichtigen.

4. Verfahren nach Anspruch 3 und einem oder beiden der Ansprüche 1 und 2.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichswert (U₀) periodisch wiederkehrend gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebene (32, 29) durch eine Differenzmessung ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es bei drehendem Werkzeug (14) durchgeführt wird, sofern dies nicht schon nach dem zugrundeliegenden Anspruch der Fall ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsystem (21, 39, 51) periodisch Meßwerte liefert.

9. Verfahren nach den Ansprüchen 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl des Werkzeuges derart an die Meßperiode des Meßsystems angepaßt ist, daß die Drehzahl und die Meßperiode nicht miteinander synchronisiert sind.

10. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichswert (U₀) im zweiten Meßsystem (52) mittels eines eigenen Laserstrahls (28') und einer gesonderten Fotozelle (53) dafür ermittelt wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

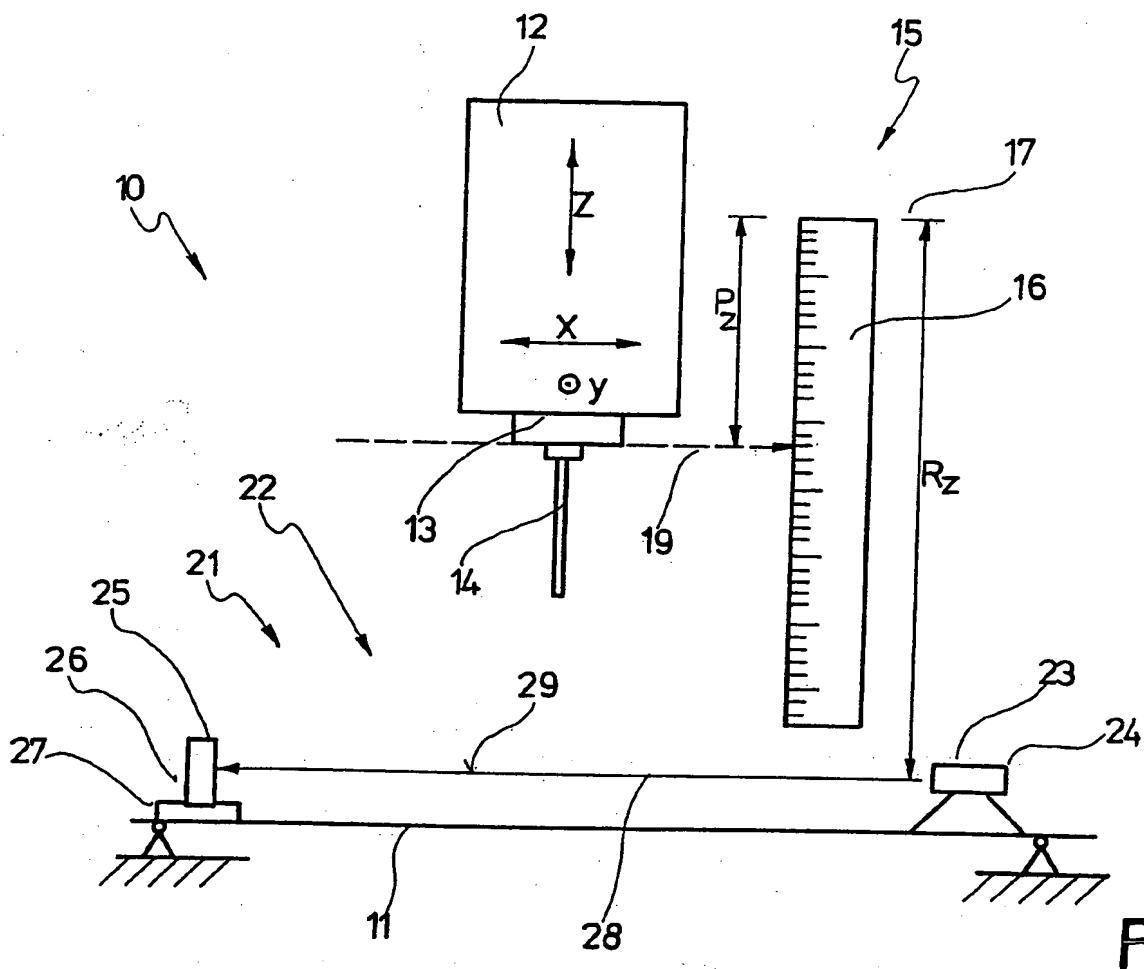
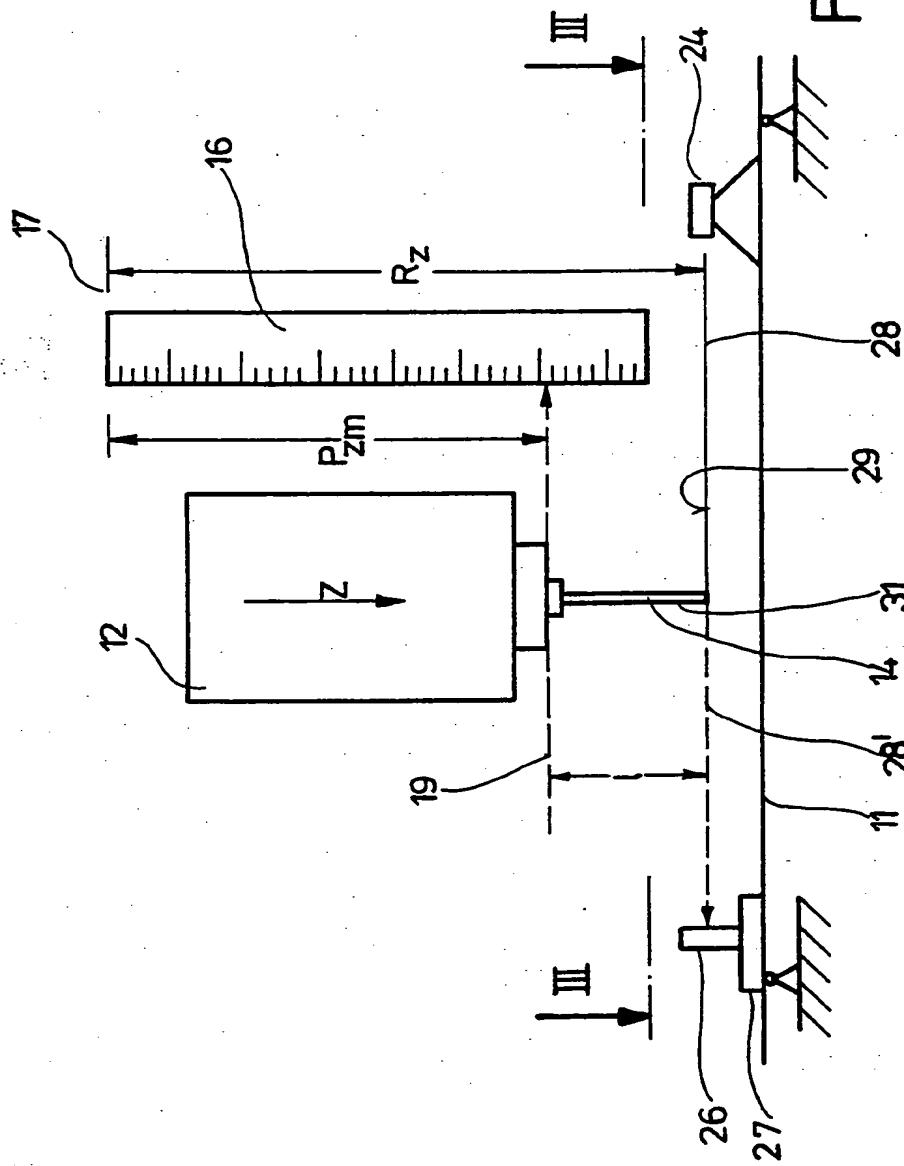


Fig.1

Fig. 2



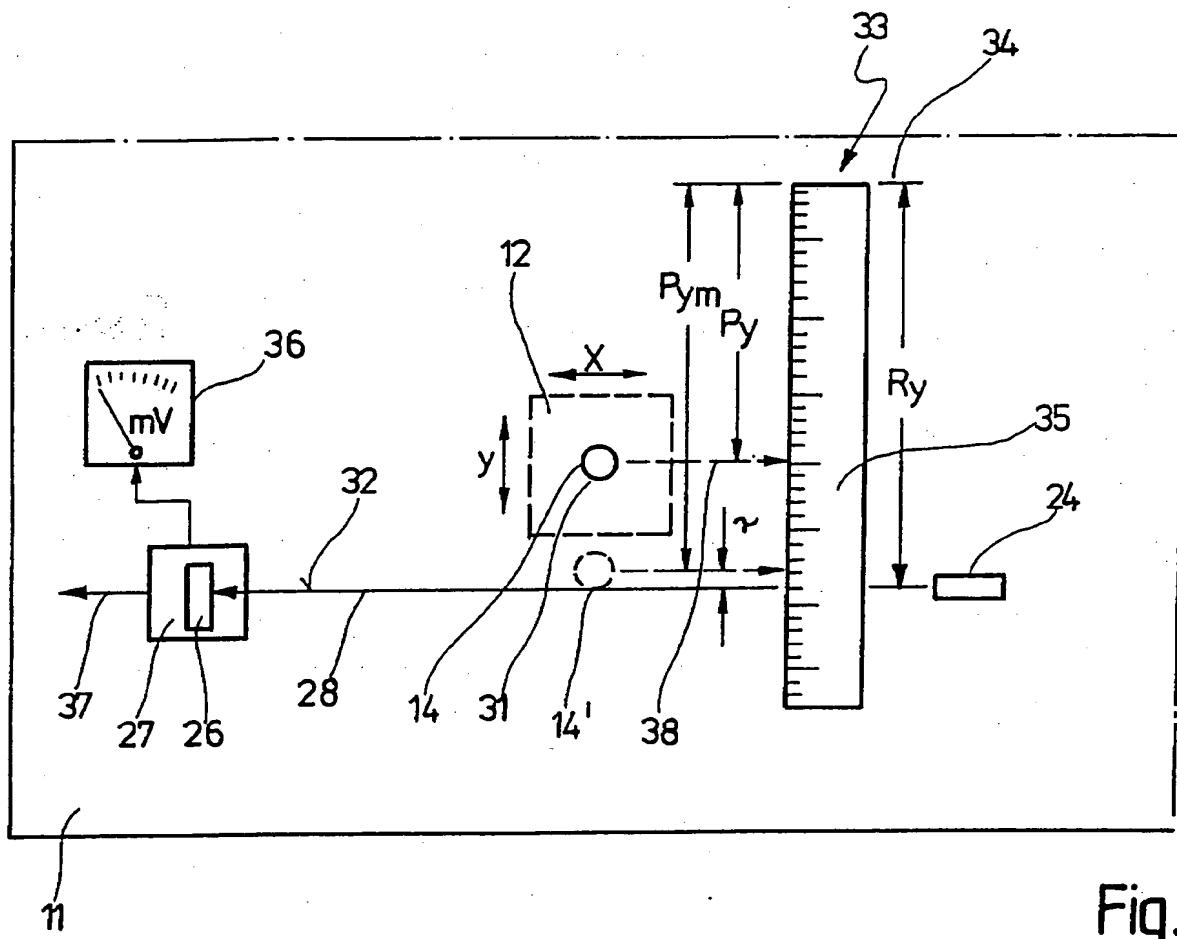


Fig.3

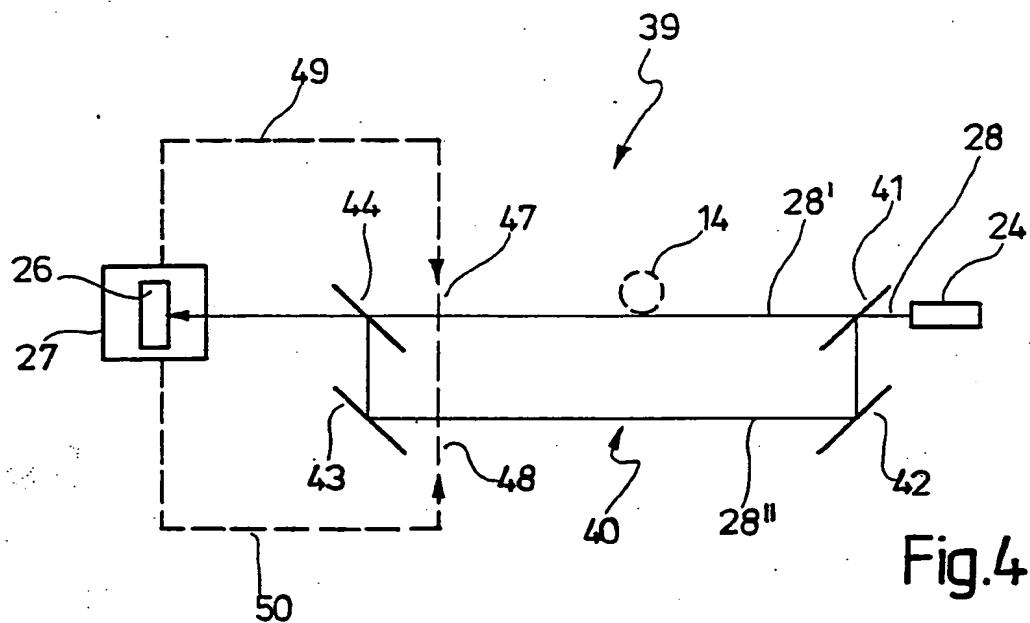


Fig.4

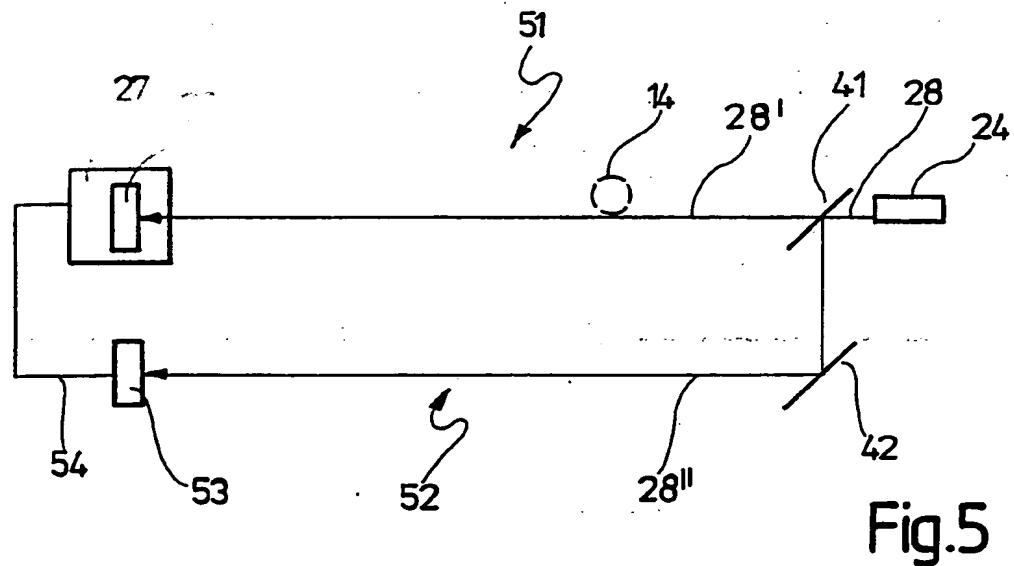


Fig.5

Position Py	Signal 36	Ausgang 37
	$U = 30\text{mV}$	-
	$U = 27\text{mV}$	-
	$U = 10\text{mV}$ $U_0 = 27\text{mV}$	+
	$U = 28\text{mV}$ $U_0 = 27\text{mV}$	-
	$U = 12\text{mV}$ $U_0 = 27\text{mV}$	+

Tabelle 1

DE 42 38 504 C2

Description

This invention relates to a method for measuring a tool in the spindle of a machine tool, whereby a relative method is used to move the tool between the spindle headstock and the workpiece table, in which

- the position of the headstock in relation to a reference point is determined using a position measuring system,
- the tool is moved in the direction of one of its axes towards an optical measuring plane essentially running at right-angles to this axis and linked to an optical measuring system,
- the measuring system emits a measuring signal which is used to determine whether the tool has entered the measuring plane,
- the relative position of the headstock at the moment the tool enters the measuring plane is measured to provide a position value,
- the position value and the position of the measuring plane relative to the reference point are used to calculate the tool's deviation for that axis.

A method such as this has already been described in document EP 00 98 930 A2.

The purpose of the known method is to monitor the tool of a NC-machine tool for breakage and wear. As the tool is advanced or retracted in a longitudinal direction it passes through an optical measuring plane consisting of a laser beam barrier, positioned at right-angles to the feed direction. When the beam is interrupted, it acts as a signal to measure the current relative position of the spindle to which the tool is attached.

In order to determine the length of the tool, it is also necessary to know the position of the beam relative to the zero point of the distance measuring system used to establish the position of the spindle.

The length of the tool can then be calculated as simply the difference between the relative position of the beam and the position of the spindle or headstock at the moment the beam is interrupted. Wear or breakage can then be discovered by comparing the length derived from this calculation with the nominal length.

The laser barrier consists of an emitter and a sensor, protected by covers from contamination by cooling water, shavings or other impurities. Air nozzles are also fitted to clean the emitter and sensor.

One disadvantage of the existing method is that the accuracy with which the length is measured depends on the accuracy with which the relative position of the laser barrier is known. If, for example, thermal deflections or other changes of position should take place between the laser barrier and the reference point of the position measuring system during operation of the machine tool, accurate determination of the length of the tool is no longer possible.

Moreover, measurement of the length of the tool is affected by impurities in the air of the room in which the machine is operated, since such impurities lead to a loss of signal from the laser barrier that can be confused with the loss of signal caused by a tool interrupting the beam. Thus, measurement of the relative position of the headstock at the moment the tool interrupts the beam carries with it a large unreliability factor. This leads to great inaccuracy in determining the length of the tool.

The more inaccurate the measurement of the current length of the tool, the more unreliable is any information regarding breakage or wear obtained through this method.

In addition, EP 0 346 288 A1 describes a method, whereby a tool is partially advanced into a broad laser beam in order to determine its diameter, eccentricity and circularity. The document does not describe measurement of length.

This method also has the same disadvantages as have already been described above in relation to the method given in EP 0 098 930 A2. In particular, it is not intended for use on-site in workshops with running machine tools.

WO 87/07550 additionally describes a method for fully measuring cutting edges using a laser beam and CCD-cameras.

DE 22 31 776 B2 describes an appliance in which a long light source is partially obscured by the object to be measured, so that depending on the geometry of the object, more or less light falls on a measuring sensor. Light from the same light source is also allowed to fall unobscured onto a reference sensor. A quotient formula is used for the two sensors' signals, so that the influence of light in the surroundings or operational variations in the intensity of the light source do not affect the measurement signal.

Finally, it is widely known from Hans Hart's book "Einführung in die Meßtechnik" [Introduction to Metrology], VEB-Verlag Technik, Berlin, 1977, pp. 330-333, that appliances can be adjusted using standards prior to being put into service.

On this basis, the aim of the proposed invention is to improve upon the method described at the beginning of the document so as to avoid the disadvantages cited and increase both accuracy and reproducibility when measuring a tool. The proposed method is also intended to aid more accurate operation of the machine tool itself.

The method described initially, in which the measuring system includes a thin laser beam, achieves this aim in one respect, in that when measuring rotating tools, the process is also carried out along an axis at right-angles to the longitudinal direction of the tool, in order additionally to determine the circularity and diameter of the tool during operation.

The aim behind this invention is achieved, because now that the deviation of the tool can also be measured in a transverse direction, both the diameter of the tool and imperfections in circularity can be measured. The length of the tool does not reflect wear and breakage absolutely. Moreover, it is also entirely possible that abrasion during the machining of a workpiece can affect the tool's diameter and circularity. Such impairments in turn lead to reduction in the quality of work that can be achieved using the machine tool.

This method obviously requires that the machine tool is capable of advancing the tool tangentially to the measuring plane.

The aim is additionally achieved in that in the method described initially, before the tool is measured, a measuring tool is measured with defined deviations and that the relative position of the measuring plane is determined from the position value for the measuring tool and from the defined deviations, whereby the method is carried out on a machine with automatic tool change and the relative position between tool changes is continually re-determined between tool changes, thus enabling the machine settings to be monitored and if necessary altered while the machine is in operation.

The aim according to this invention is also achieved in this way. As it is now possible to re-determine the relative position of the measuring plane at any time while the machine is in operation, deflections in the machine can be recognised and allowance made for them at any time. Thermal expansion of the machine or other alterations in the position of the measuring plane are thus recognised and do not lead to erroneous calculations of the dimensions of the tools to be measured. This increases both the accuracy of measurement and the reproducibility of the method according to the invention. As the current tool measurements can now be measured with greater accuracy, the machine tool can now also function with a greater degree of reliability and accuracy.

Finally, the aim constituting the basis of this invention is also achieved in that in the procedure described initially, in which the measuring system consists of a fine laser beam, the measuring signal of the measuring system is compared with a reference value in order to establish whether the tool is interrupting the laser beam, and the reference value is established by means of a second measuring system which is not influenced by it when the tool enters the measuring plane in order to provide for the current level of pollution of the air in the working area.

This measure, too, achieves the aim of the invention. Because by comparing the measuring signal with a reference value, any impurities present in the machine tool's working space are "filtered out", as the reference value enables provision to be made for the current air pollution level in the working area.

In this way unreliability in reading the momentary relative position of the headstock is reduced drastically, which again leads to more accurate measurement of tool deviation. This in turn results in greater accuracy of machine tool operation.

A further advantage is that the reference value can be determined simultaneously with the measuring signal, so that even rapidly fluctuation in the pollution of the operating premises of the machine tool cannot affect the accuracy of measurement.

It is particularly desirable if several of the aforesaid measurements are carried out in the method according to the invention.

The advantage of this is that multiplying the above-described measurements makes it possible to increase the accuracy of measurement. For example, to determine the diameter or circularity of a tool requires a much greater level of precision than to determine the length of a tool. If, then, the method according to the invention increases for instance accuracy of measurement through the use of a reference value and/or the use of a measuring tool to determine the relative position of the measuring plane, tool diameter and circularity can be established with even greater accuracy.

But even when determining tool length, combining the measuring tool and reference value measurements provides the cumulative benefit of a further clear increase in the accuracy of measurement.

All this results in the tool deviations being known with greater accuracy, thus enabling the tools to be operated at higher resolution and a higher level of reproducibility.

It is also preferable for the reference value to be periodically re-measured.

This step is especially beneficial when larger impurities such as shavings are flying through the operating space at the time of measurement, as these impurities can activate the measuring system even though the tool has not yet entered the measuring plane. However, as the shavings change their position in the working area relatively quickly, their influence is no longer there at the next measurement, so that even such impurities can be "filtered out".

In an extension of comparing the measuring signal with a reference value, it is beneficial to take the measuring and reference values simultaneously in order to "filter out" changes in the pollution of the working area.

In a further extension it is to be preferred if the entry of the tool into the measuring plane is established by means of a differential measurement.

In a further extension of the said method, measurements are preferably taken on a rotating machine, insofar as this is not already a fundamental element of the said process, and for the measuring system to periodically provide measurements.

The overall result of this measure are that the method according to the invention can be carried out more quickly, as it is no longer a requirement for the tool to have come to a standstill.

Measurements taken from a rotating tool have the additional advantage of allowing the circularity of a rotating tool to be inferred. A non-circular tool will, if introduced to the measuring plane tangentially, enter the measuring plane for a time and leave it again for a time, so that the measuring values will regularly fluctuate in the rhythm of the rotating tool due to the tool's lack of circularity. Recognition of the lack of tool circularity will again increase operating safety and accuracy of processing by the machine tool.

It is further preferable here if the rotational speed of the tool is so attuned to the measuring period of the measuring system that the rotational speed and the measuring period are not synchronised with one another.

Non-synchronisation as described above is understood in that the measuring period during the time taken for one rotation of the tool is preferably different from a integer multiple or an integer part of this period of time.

In this way throughout the duration of measurements values are taken from several points along the length of the tool circumference. This also enables small deviations in tool circularity to be recorded, which again increases the accuracy of measurement, reproducibility and precision of operation.

Where the method is applied to a machine tool with automatic tool change, and in which the relative position of the measuring plane is repeatedly determined between tool changes, alterations in the relative position of the measuring plane can indicate thermal deflections or other shifts in the machine. This knowledge can then be used not only to measure the deviations of the tool being used at a particular time, but can also be used to alter or monitor other machine adjustment parameters.

Furthermore, with an automatic tool change machine it is advantageous to arrange the measuring plane in such a way that the respective tool is inserted into the measuring plane when it is advanced towards a workpiece to be processed. In this way "dead time" between individual machining motions is kept to a minimum, as changing the tool requires first that the spindle is drawn back from the workpiece, and then re-advanced with a new tool. If this involves crossing the measuring plane, tool measurement can take place practically while it is being advanced. Care should be taken here that the measuring period of the measuring system is sufficiently small when compared with the tool's speed of advancement. For the greater the number of measuring values that are taken per withdrawn tool path increment, the greater the precision with which the path element can be sub-divided. For example, if a resolution of 0.1 mm is required, and the tool is

advanced at a speed of 10mm per second, at least 100 measurement values must be taken per second in order to obtain the desired resolution of 0.1 mm.

Further advantages can be seen from the description and the attached illustration.

An embodiment of the invention is given in the illustration and will be explained in more detail in the following description.

Fig. 1 is a schematic depiction of a machine tool viewed from the side, and which is using the new method, where the tool has not yet entered the measuring plane;

Fig. 2 is a diagram as Fig. 1, but in which the tool has just entered the measuring plane;

Fig. 3 is an illustration along the line III-III in Fig.2;

Fig. 4 depicts a second measuring system for the measuring plane in a sectional view of an elevation of fig.3;

Fig. 5 shows a third measuring system for the measuring plane in an illustration as Fig. 4.

Fig. 1 is a schematic depiction of machine tool 10 viewed from the side. Machine tool 10 includes a tool bed indicated at 11 to accommodate a workpiece for processing; the workpiece has not been illustrated for the sake of clarity. Additionally, a headstock 12 has been included, which has been fitted with a rotating and driven spindle 13. Spindle 13 is fitted with tool 14 which is directed towards tool bench 11.

Headstock 12 can travel along the three indicated axes X, Y and Z relative to the tool bench. A position measuring system 15 with a Z-scale 16 is provided to determine the relative position of the headstock in direction Z. 17 is a reference point for direction Z which corresponds to the X/Y plane in the selected system of coordinates.

In order to determine the relative position of headstock 12 in direction Z a reference plane is set at headstock 12 which coincides with the junction between spindle 13 and tool 14. This reference plane is indicated by an arrow 19 pointing towards scale 16. The distance between reference point 17 and arrow 19 similarly indicates the relative position of headstock 12.

Workpiece bed 11 is fitted with an optical measuring system 21, which in this case is a light barrier 22. Light barrier 22 embraces a transmitter 23, here depicted as laser light source 22.

Additionally there is receiver 25, depicted as photoelectric cell 26. Receiver 25 is assigned with an evaluation unit 27.

Laser light source 24 emits a laser beam 28 aimed at photoelectric cell 26. Laser beam creates an optical measuring plane 29, which runs parallel to the X/Y axis in Fig. 1.

Measuring plane 29 is positioned at distance R_z from Reference Point 17. The distance R_z is either a known machine parameter, or can be calculated. This will be further described below.

While in Fig. 1 tool 14 has not yet entered measuring plane 29, Fig. 2 illustrates a situation where measuring tool 14 has just entered measuring plane 29 and interrupts laser beam 28. Laser beam 28 now either does not reach photoelectric cell 26 at all, or does so with a reduced beam strength, which is indicated by the broken line depicting laser beam 28' in Fig. 2 to the left of tool 14.

The interruption of laser beam 28 or the reduction in its intensity is recognised by evaluation unit 27. Evaluation unit 27 then queries the current relative position P_{zm} of headstock 12 in relation to reference point 17.

The position of the headstock depicted in Fig. 2 is the geometrical relationship between the relative position of measuring plane 29 and headstock 12 in such a way that length 1 of tool 14 is obtained from the difference between R_z and P_{zm} . Length 1 of tool 14 is defined in such a way that it corresponds to the distance between the tip of the tool and the reference plane indicated by arrow 19 on the headstock.

Headstock 12 has been moved between the positions shown in Fig 1 and Fig. 2 in direction Z. Measuring system 21 is now so arranged that evaluation unit 27 queries photoelectric cell 27 with a measuring period that is adjusted to the travel speed of headstock 12 in direction Z and to the desired resolution. The faster headstock 12 travels and the higher the desired resolution, the smaller the measurement interval needs to be. Thus the greater the travel distance of headstock 12 per unit of time, the greater the number of measurement values that needs to be taken per unit of time. If the feed rate is, for instance, 10mm per second and the accuracy of measurement has to be 0.1mm, at least 100 measurement values need to be taken per second. The accuracy of measurement can thus be increased by increasing the number of measurement values per unit of time.

It has been shown that during operation of the machine tool thermal deflections or changes in position change relative position R_z of measuring plane 29 in relation to reference point 17. As this also affects the accuracy of measurement, it is envisaged that the relative position R_z be measured with the help of measuring tool 31. To this end, a measuring tool 31 whose length 1 is known, is fixed into spindle 13 in place of tool 14.

The tool measuring procedure described above is now carried out for measuring tool 31 in which, however, the relative position R_z of measuring plane 29 is to be determined. From the geometrical relationship shown in Fig. 2 it follows that R_z corresponds to the sum of the current relative position P_{zm} and Length 1.

In machine tools with automatic tool change while a workpiece is being processed, a measuring tool can be changed between individual tool changes, so that the situation of measuring plane 29 can be monitored throughout the entire processing time. Not only does this increase the accuracy of measurement of the tools being used, but it also makes it possible to recognise changes of position within the machine and to make the necessary allowances.

Fig. 3 is a top view of the arrangement of a second measuring plane 32 from Fig. 2 which lies on the X-Z plane. Measuring plane 32 is also set by laser beam 28.

Position measuring system 33 is additionally shown for direction Y, containing both a Y reference point 34 and a Y scale 35. The relative position Py of headstock 12 is measured in direction Y with the help of position measuring system 33.

Measuring instrument 36 is also indicated, whose purpose is to indicate the measurement signals transmitted by evaluation unit 27. Such an indication is of course not required, which is why only the measuring signal needs to be depicted as such.

Additionally, evaluation unit 27 has an output 37 to indicate whether a tool 14 or a measuring tool 31 has entered measuring plane 29 or 32 respectively.

Fig. 3 shows an additional arrow 38 which runs through the rotational axis of tool 14. The distance between arrow 38 and reference point 34 gives relative position Py of headstock 12 in direction Y. A position measuring system corresponding to position measuring system 33 is also envisaged for the direction X, but has not been depicted for the sake of clarity.

At the position of tool 14 indicated by 14', evaluation unit 27 emits a signal at its output 37 to show that tool 14 is just entering measuring plane 32. The current relative position Pym of headstock 12 and of arrow 38 respectively is now measured and determines the radius of tool 14 by establishing the difference with the relative position Ry of laser beam 28 on the X/Z plane.

If one now uses measuring tool 31 again, whose radius r is known, the relative position Ry of measuring plane 32 can be calculated with the help of the current position Pym.

This also makes it possible to recognise shifts in direction Y within the machine tool. An additional optical measuring system aimed in direction Y makes it possible to take corresponding measurements for direction X.

It should now be considered in respect of accuracy of measurement that in the working area of the machine tool the air is polluted with oil, which is additionally burdened with small impurities in the form of shavings and other waste. These impurities float around machine tool 10 in the working area and result in laser beam 28 hitting photoelectric cell 26 with varying intensity. In order to prevent a reduction in signal caused by such impurities from being mistaken for the entry of tool 14 into measuring plane 32 or 29, the current measuring signal of the evaluation unit and photoelectric cell 26 are both

compared with a reference value. This reference value is taken periodically and in its simplest embodiment corresponds to the latest measurement value. This means that the current measuring value is always compared with the previous measuring value, and that it can be inferred from this value whether tool 14 is entering measuring plane 32.

This is based on the fact that the alterations in laser beam intensity caused by impurities in the working area are small compared with the alteration in intensity caused by the entry of tool 14. However, if a drastic reduction in intensity, for example of 60%, is identified, the latest measurement value is retained as a reference value for all following measurements. This makes it possible to "filter out" the effect of impurities.

By means of Table 1 it will now be described how the circularity of a tool 14 can be determined by means of the method described above. The left column of Table 1 gives five different states of a tool 14 while it is inserted into measuring plane 32. The middle column shows the appropriate measurement signal of evaluation unit 27, in which U_0 shows the reference value.

The right-hand column shows output 37 of evaluation unit 27 again, in which a plus sign denotes the recognition of the entrance of a tool.

In the top row, tool 14 is still so far from measuring plane 32 that despite the clear non-circularity of tool 14 in Table 1, laser beam 28 is not interrupted. The measuring signal here is, by way of example, 30 mV. Output 37 is not transmitting a signal.

In the second row, Tool 14 has approached measuring plane 32 tangentially, although it has not yet entered measuring plane 32. In the meantime, impurities in the working area have reduced the measuring signal to 27 mV, but output 37 does not yet indicate that the tool has entered.

In the third row, tool 14 has revolved by about 90°, so that laser beam 28 has now been fully interrupted. The measuring signal is now only 10 mV. Evaluation unit 27 recognises this sharp reduction in the signal and takes the last measuring signal (from the second row) of 27 mV as the reference value. The entry of tool 14 is transmitted to output 37.

In the fourth row, although the distance between tool 14 and measuring plane 32 has not yet changed, the rotation of the non-circular tool means that laser beam 28 is no longer interrupted. Correspondingly, the photo-electric cell sends a measuring signal of 28 mV, which is compared with reference value V_0 of 27 mV. This comparison tells the measurement unit that the tool has no longer entered the measuring plane.

In the last row of table 1, the tool has rotated a further 90° and has again entered laser beam 28. The measuring signal is now 12 mV, the deviation from the value from the third line being caused by atmospheric changes in the working area of the machine tool. By comparing the 12 mV with the U_0 of 27 mV, evaluation unit 17 again recognises the entry of tool 14 and shows this at output 37.

It should be mentioned here that the number of measurement values per unit of time and the number of tool revolutions have been so adjusted in relation to one another as to avoid any synchronisation. This means that the measuring interval is different from the time taken for one tool rotation, and preferably also differs from an integer multiple or an integer part of this time. In other words, the measuring system records tool 14 for each measurement value in a different state of rotation each time in order to make the non-circularity clearly recognisable.

Table 1 obviously only gives a brief section of an entire measuring process. The speed with which the tool 14 advances in direction Y is so small compared with the rotational speed of tool 14 and the number of measurement values per unit of time that the non-circularity is measured practically in a stationary state.

The fact that the measurement value is compared at each stage with the previous reference value in order to recognise the entry of tool 14 into measuring plane 32 or 29 means that no special measures have been envisaged to protect transmitter 23 and receiver 25. Impurities are "filtered out" automatically.

Fig. 4 depicts a further optical measuring system 39 which can be used with the machine tool according to Figs. 1 to 3 and the process carried out thereby.

Measuring system 39 comprises a further system 40 which is connected in parallel to the original measuring system 21. To this end laser beam 28 is divided into two parallel laser beams 28' and 28" by means of a beam splitter 41 and a deviating mirror 42. With the help of a further deviating mirror 43 and a one-sided deviating mirror 45, laser beam 28" is similarly diverted towards photoelectric cell 26.

The beam path of both laser beams 28' and 28" are provided with shutters 47 and 48, which are activated via control lines 49 and 50 by evaluation unit 27.

Evaluation unit 27 switches shutters 47 and 48 in a push-pull manner, so that the photoelectric cell measures either laser beam 28' or laser beam 28". As tool 14 only enters laser beam 28' and laser beam 28" remains unaffected by it, the reference measurements are taken between two almost simultaneous measurements. Here it is of particular benefit that only a single laser light source 24 and a single photoelectric cell 26 are required. This method also makes it possible to filter out impurities in the air of the working area of the machine tool.

A further possibility for filtering out impurities is given in fig. 5. The measuring system 51 shown here similarly has a second path 52, although a second photoelectric cell 53 is envisaged here. Photoelectric cell 53 is similarly read via connecting line 54 by evaluation unit 27 which measures the difference between photoelectric cells 26 and 53. In this way the two parallel laser beams 28' and 28" are read and compared simultaneously, thus enabling the entry of tool 14 to be measured regardless of impurities.

All the above-described methods for eliminating the influence of impurities in the working area clearly increase the accuracy with which the system carries out measurements.

As the laser beam 28 employed has only a very small diameter, the relative positions Pym and Pzm of headstock 12 can be determined to a fraction of laser beam's diameter and to a fraction of a millimeter. In connection with the high resolution of the measuring system this leads to the fact that it is possible not only to make very accurate measurements of the tool 15 being used in the machine tool, both as regards its length and its diameter, but also to rapidly establish the circularity of a rotating tool.

All the methods described hitherto significantly improve accuracy of measurement in a machine tool. The new method additionally offers the advantage that changes in position can be recognised inside a machine tool when a measuring tool is measured whose dimensions are defined and known. The values obtained in this way can again be used when the next processing tools 14 are measured.

CLAIMS

1. Method for measurement of a tool (14) in a spindle (13) of a machine tool (10) in which the tool (14) is advanced through relative movement between a spindle-receiving spindle body (12) and a workpiece table (11), whereby the relative position (Pz) of the spindle body (12) to a reference point (34,17) is determined by means of a measuring system (33,15), the tool is advanced in the direction of one of its coordinates (Z), into an optical measuring plane (32,29), extending essentially transverse to the coordinate, and having an associated optical measuring system (21,39,51) with a thick laser beam, the measuring system (21,39,51) outputs a measuring signal by means of which it is determined whether the tool extends in the measuring plane (32,29), upon extension of the tool (14) in the measuring plane (32,29) the instantaneous relative position (Pzm) of the spindle body (12) is measured as a position measured value (Pzm), and from the position measured value (Pzm) as well as from the relative position (Rz) of the measuring plane (32,29) to the reference point (34,17) the tolerance (l) of the tool (14) in the coordinate (Z) is determined, characterised in that the method, with rotating tools (14) is also executed in a coordinate direction (Y), extending transverse to the length direction (Z) of the tool, in order to determine in operation additionally the roundness and diameter (r) of the tool.

2. Method for the measurement of a tool (14) in a spindle (13) of a machine tool (10), in which the tool is advanced through relative movement between a spindle-receiving spindle body (12) and a workpiece table (11), whereby the relative position (Py,Pz) of the spindle body (12) to a reference point (34,17) is determined by means of a measuring system (33,15), the tool is advanced in the direction of one of its coordinates (Y,Z) into an optical measuring plane (32,29) having associated optical measuring system (21,39,51) and extending in a direction essentially transverse to the coordinate, the measuring system (21,39,51) outputs a measuring signal with the aid of which it is determined whether the tool (14) extends in the measuring plane (32,29), by extension of the tool (14) in the measuring plane (32,29) the instantaneous relative position (Pym,Pzm) of the spindle body (12) is measured as a position measured value (Pym,Pzm), and from the position measured value (Pym) as well as from the relative position (Ry,Rz) of the measuring plane (32,29) to the reference point, the tolerances

(r,l) of the tool 14 in the coordinates (Y,Z) are calculated, characterised in that for the measurement of the tool (14) a measuring tool (31) having a defined tolerance (r,l) is measured, and that from the position measured value (Pym,Pzm) for the measuring tool (31) and the defined tolerances (r,l) of the relative position (Ry,Rz) of the measuring plane is determined, whereby the method is also executed on a machine tool (10) with automatic tool change and the relative position (Ry,Rz) of the measuring plane (32,29) between tool changes is always once again determined, in order to enable parameters of machine adjustment during operation to be controlled and changed.

3. Method for measurement of a tool (14) in the spindle (13) of a machine tool (10) in which the tool (14) is advanced through relative movement between a spindle-receiving spindle body (12) and a workpiece table (11), whereby the relative position (Py,Pz) of the spindle body (12) to a reference point (34,17) is determined by means of a measuring system (33,15), the tool is advanced in the direction of one of its coordinates (Y,Z) into an optical measuring plane (32,39) having an associated optical measuring system (21,39,51) with a thick laser beam, and extending in a direction essentially transverse to the coordinate (Y,Z), the measuring system (21,39,51) outputs a measuring signal by means of which it is determined whether the tool (14) extends in the measuring plane (32,29), upon immersion of the tool (14) in the measuring plane (32,29) the instantaneous relative position (Pym,Pzm) the spindle body (12) is measured as a position measured value (Pym,Pzm), and from the position measured value (Pym,Pzm) as well as from the relative position (Ry,Rz) of the measuring plane (32,39) to the reference point (34,17), the tolerance (r,l) of the tool (14) in the coordinate (Y,Z) is calculated, characterised in that the measuring signal of the measuring system (21,39,51) is compared with a comparative value (U_0), in order to determine whether the tool (14) interrupts the laser beam, and the comparative value is determined with a second measuring system (52), which is not influenced by the immersion of the tool (14,31) in the measuring plane (32,29) in order to establish the actual contamination level of the air in the working area.

4. Method according to claim 3 and 1 or both of claims 1 and 2.

5. Method according to one of claims 3 or 4 characterised in that the comparative value

U_0 is measured again periodically.

6. Method according to one of claims 1-5 characterised in that the immersion of the tool (14) in the measuring plane (32,29) is determined by a difference measurement.

7. Method according to one of claims 1-6 characterised in that it is executed with rotating tools (14), in as much as this is not already the case in accordance with the fundamental claim.

8. Method according to one of claims 1-7 characterised in that the measuring system periodically delivers measuring values.

9. Method according to claims 7 and 8 characterised in that the speed of revolution of the tool is adapted to the measuring period of the measuring system, that the speed of revolution and the measuring system are not mutually synchronised.

10. Method according to claim 3 characterised in that the comparative value (U_0) is determined in the second measuring system (52) by means of an individual laser beam (28'') and a separate photocell (53) therefor.

In a number of claims the phrase "extends in the measuring plane" has been used. This comes from the verb "eintauchen" which literally means "to immerse in". Later on in the translation, and after due reflection, I felt it more appropriate to use this term, but I think "extends into" may be more appropriate.